

INSTYTUT ŁACZNOŚCI

KOŁO ZAKŁADOWE STOWARZYSZENIA ELEKTRYKÓW POLSKICH

Na prawach rękopisu

REFERATY PROBLEMOWE

Zeszyt 65

Zbigniew Kowalski

PORÓWNANIE SKALARNYCH MIAR TŁUMIENNOŚCI
NIEPUPINIZOWANYCH TORÓW KABLOWYCH

Warszawa 1984

S-9318

Zespół Redakcyjny:

dr inż. Stanisław Sońta, mgr inż. Andrzej Stagrowski

mgr inż. Krystyna Frączek

Opracował: dr inż. Zbigniew Kowalski

Zakład Sieci Telekomunikacyjnych /Z-3/

Instytut Łączności, ul. Szachowa 1, tel. 128-246

Praca RB-1.2.01.F.04

INSTYTUT ŁĄCZNOŚCI
DZIAŁ NIEPIENIŻOWY

Opiniował: dr inż. Aleksy Brodowski Nr S-9318

Maszynopis dostarczono dnia 2.III.1984 r.

Zamierzono zbadać zgodność dwóch skalarnych miar: ortotelefonicznej tłumienności skrośnej oraz tłumienności odniesienia. W wyniku przeprowadzonych badań porównawczych stwierdzono, że za pomocą różnych konwencjonalnych metod pomiaru tłumienności odniesienia są wyznaczane różne wielkości skalarnie, których wzajemne rozbieżności dochodzą do 30%. Stwierdzono również, że występuje bardzo dobra zgodność ortotelefonicznej tłumienności skrośnej z tłumiennością odniesienia, mierzona obiektywną metodą OREM A, obowiązującą m.in. na terenie krajów zrzeszonych w RWPG.

Redaktor: mgr K. Juskiewicz

Montaż tekstu: E. Czerwińska

Wpłynęło do Działu Wydawniczego Instytutu Łączności
w Warszawie, ul. Szachowa 1 dnia 26.III.1984 r.
Nakład 40 egz.

Zbigniew Kowalski

PORÓWNANIE SKALARNYCH MIAR TŁUMIENNOŚCI NIEPUPINIZOWANYCH TORÓW KABLOWYCH

SPIS TREŚCI

	Str.
1. Wprowadzenie	1
2. Przedmiot badań porównawczych	3
3. Charakterystyka metod pomiarowych tłumienności odniesienia	5
3.1. Wprowadzenie	5
3.2. Zastosowana metoda subiektywna	7
3.3. Zastosowane metody obiektywne	8
4. Metoda obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej badanych obiektów	11
5. Metoda szacowania wzajemnych zależności między wielkościami	16
6. Wyniki badań porównawczych	18
6.1. Pomiary tłumienności odniesienia metodą subiektywną	18
6.2. Pomiary tłumienności odniesienia metodami obiektywnymi	20
7. Interpretacja wyników badań i wnioski	25
Wykaz literatury	28

Zbigniew Kowalski

PORÓWNANIE SKALARNYCH MIAR TŁUMIENNOŚCI NIEPUPINIZOWANYCH TORÓW KABLOWYCH

1. WPROWADZENIE

Zgodnie z dotychczas obowiązującymi zaleceniami CCITT, sieci telefoniczne są projektowane na podstawie tłumienności odniesienia. Ta skalarna wielkość, charakteryzująca poszczególne ogniwa sieci i tworzone z nich łańcuchy telefoniczne, wykazuje wady istotne z punktu widzenia poprawności projektowania sieci, a mianowicie:

- jest nieaddytywna przy łańcuchowym łączeniu ogniw, ponadto nie ma możliwości jednoznacznego określania miary łańcucha na podstawie danych miar jego ogniw składowych;
- nie może być wyznaczana w warunkach eksploatacyjnych; z tego względu nie ma możliwości pomiarowego sprawdzenia poprawności zrealizowanych projektów sieci;
- oceny wartości tłumienności odniesienia są mało dokładne.

Dlatego od szeregu lat trwają próby ulepszenia tej konwencjonalnej wielkości (patrz punkt 3.1), a także znalezienia nowych skalarnych wielkości, które - nie wykazując wad tłumienności odniesienia - mogłyby ją zastąpić.

W referacie [8] sprecyzowano następujące postulaty, które powinny spełniać te nowe skalarne wielkości:

- ściślejszej addytywności przy łańcuchowym łączeniu ogniw;
- funkcyjnej zależności od wielkości zdefiniowanych w klasycznej teorii czwórników elektrycznych, wielkości dotychczas mierzonych w praktyce z zadowalającą dokładnością (również w warunkach eksploatacyjnych);

- zgodności, co do zakresu wartości, nowych wielkości z tłumiennością odniesienia.

W artykułach [5], [6], [8] i [10] przedstawiono teoretyczną metodę konstrukcji nowych skalarnych wielkości charakteryzujących czwórniki w pasmie przesyłowym; jedna z tych wielkości, nazwana ortotelefoniczną tłumiennością skrośną odniesienia, w teorii spełnia wszystkie wyżej sformułowane postulaty.

Niniejszy referat dotyczy eksperymentalnej weryfikacji spełnienia ostatniego postulatu, tj. zgodności miar. Postulat ten oznacza, że dla dowolnego czwórnika każdego rodzaju (tzn. elektrycznego, elektroakustycznego, akustoelektrycznego albo akustycznego) powinien występować liniowy związek korelacyjny między ortotelefoniczną tłumiennością skrośną odniesienia X , a konwencjonalną tłumiennością odniesienia Y , związek o prostej regresji określonej wzorem:

$$\tilde{Y} = \alpha + \beta \cdot X \quad /1/$$

w którym

$$(\alpha = 0) \wedge (\beta = 1) \quad /2/$$

a więc

$$\tilde{Y} = X \quad /3/$$

Postuluje się zatem, aby warunkowa wartość oczekiwana konwencjonalnej tłumienności odniesienia była równa ortotelefonicznej tłumienności skrośnej odniesienia rozważanego czwórnika.

Ortotelefoniczna tłumienność skrośna odniesienia czwórnika dowolnego rodzaju została zdefiniowana [8] jako skalar o postaci

$$X = \bar{A} - C \quad /4/$$

gdzie C jest stałą, zależną od rodzaju rozpatrywanego czwórnika, zaś

$$\bar{A} = \int_{f_d}^{f_g} g(f) \psi(f) df \quad /5/$$

jest pasmową tłumiennością skrośną tego czwórnika z wagą ortotelefoniczną, tzn. z funkcją g określoną w naturalnym pasmie telefonicznym (tzn. dla $f_d = 0,3$ kHz i $f_g = 3,4$ kHz) optymalnie z punktu widzenia ustalonego kryterium oceny jakości transmisji.

Dla czwórników elektrycznych wartość stałej

$$C = 0 \quad /6/$$

a więc ortotelefoniczna tłumienność skrośna odniesienia takich czwórników jest funkcjonalem tylko jednego argumentu g , tzn.

$$X = X(g) \quad /7/$$

Zatem dla czwórników elektrycznych postulat zgodności miar można spełnić przez odpowiedni dobór funkcji g gęstości wagi.

Celem pracy przedstawionej w niniejszym referacie było zbadanie, czy postulat zgodności miar zostaje spełniony dla niepupinizowanych torów kablowych w przypadku funkcji g gęstości wagi wyznaczonej w pkt. 4 referatu [5], a mianowicie

$$g(f) = \frac{0,412\ 825}{f} - 0,093 \ln f \quad /8/$$

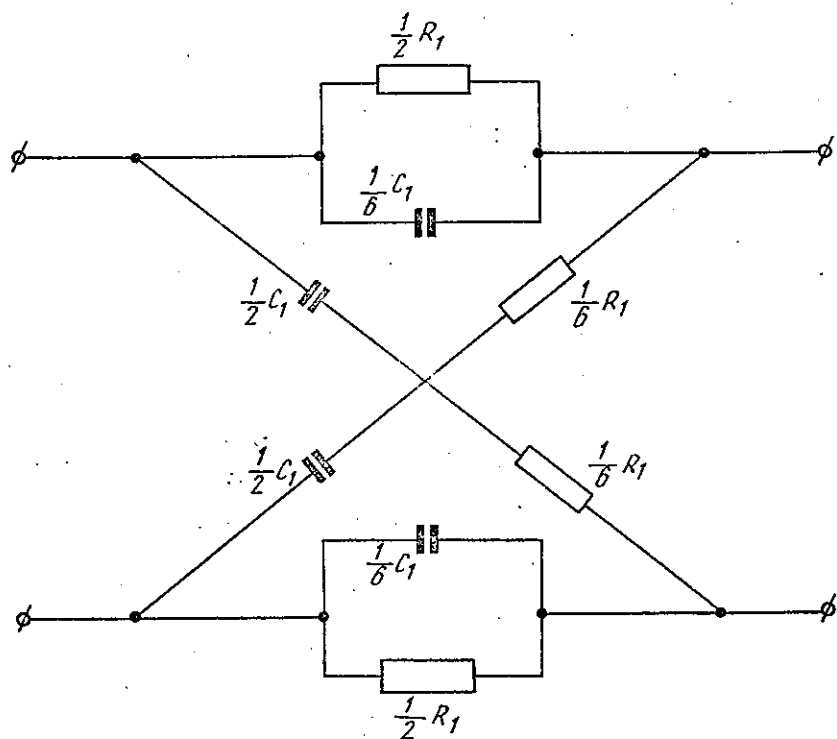
gdzie częstotliwość f wyrażono w kHz.

Badanie zgodności miar przeprowadzono przez porównanie wyników obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej torów kablowych z wynikami pomiarów tłumienności odniesienia linii sztucznych odtwarzających te tory.

2. PRZEDMIOT BADAŃ PORÓWNAWCZYCH

Przedmiotem badań porównawczych było 8 linii sztucznych, scharakteryzowanych w tablicy 1. Każda linia sztuczna składa się z N ogniów przewidzianych do połączeń łańcuchowych. Każde ogniwo odtwarza 1 km

niepupinizowanego toru kablowego i posiada strukturę przedstawioną na rys. 1. Struktura ogniwa oraz wartości występujących tam elementów elektrycznych zostały zaprojektowane metodą aproksymacji Pade, podaną w [1].



Rys. 1. Schemat ideowy ogniwa linii sztucznej odtwarzającego 1 km niepupinizowanego toru kablowego o parametrach jednostkowych R_1 i C_1

Tablica 1

Charakterystyka przedmiotu badań (linii sztucznych)

Lp.	Liczba ogniw	Typ kabla	Średnica żył [mm]	Parametry jednostkowe	
				Rezystancja R_1 [Om/km]	Pojemność C_1 [nF/km]
1	6	XTKMX	0,4	280	50
2	8	XTKMX	0,5	180	50
3	10	XTKMX	0,6	125	50
4	12	XTKMX	0,8	70	50
5	6	TKM	0,4	280	40
6	8	TKM	0,5	180	40
7	10	TKM	0,6	125	40
8	12	TKM	0,8	70	40

3. CHARAKTERYSTYKA METOD POMIAROWYCH TŁUMIENNOŚCI ODNIESIENIA

3.1. Wprowadzenie

Tłumienność odniesienia jest wielkością, której wartości są wyznaczone z założenia metodą subiektywną, szczegółowo przedstawioną w załączeniu P.72 CCITT [3, vol.V]. Upraszczając sprawę, ocena wartości tłumienności odniesienia badanego obiektu następuje na podstawie wrażeń jednakowej głośności mowy transmitowanej na przemian przez regulowany kanał tworzony przez wzorzec telefonometryczny oraz przez nieregulowany kanał, zawierający oprócz badanego obiektu - dopełniające łańcuch telefoniczny człony tego wzorca^{x/}.

x/ Obszerniejszy opis podano w artykule [9].

W ostatnich latach stwierdzono, że tłumienność odniesienia wyznaczana konwencjonalną metodą subiektywną, ściśle według zalecenia P.72, gdy w wyniku pomiarów uzyskuje się wartości tzw. wskaźnika RE (\equiv Reference Equivalent), wykazuje ewidentne wady. Dlatego na VII Zgromadzeniu Plenarnym CCITT w listopadzie 1980 r. uzgodniono, że przy projektowaniu sieci telefonicznych należy stosować tzw. skorygowaną tłumienność odniesienia CRE (\equiv Corrected Reference Equivalent), szczegółowo przedstawioną w aneksie A do zalecenia G.111 CCITT [3, vol. III]. Ocena wartości skorygowanej tłumienności odniesienia badanego obiektu następuje na podstawie wrażeń jednakowej głośności mowy transmitowanej na przemian przez nieregulowany kanał tworzony przez wzorzec telefonometryczny oraz przez regulowany kanał, zawierający oprócz badanego obiektu - dopełniające łańcuch telefoniczny człony tego wzorca. Dlatego pomiary wartości CRE są przeprowadzane zawsze przy stabilnej głośności mowy transmitowanej przez kanał odniesienia (zawierający kompletny wzorzec telefonometryczny), w odróżnieniu od pomiarów wartości RE, przy których głośność dźwięków równowagi zależy od tłumienności badanego obiektu. Należy dodać, że CCITT zaleca, aby pomiary wartości CRE odbywały się przy ustawieniu tłumika w części torowej wzorca telefonometrycznego na wartość 25 dB (patrz rys. 2); w wyniku takich pomiarów uzyskuje się wartości tzw. wskaźnika R 25.

Ze względu na przyjętą zasadę subiektywnej metody oceny, wyniki pomiarów zarówno wskaźnika RE jak i wskaźnika R 25 są mało dokładne, zależąc od składu osobowego ekipy telefonometrycznej i od aktualnego stanu samopoczucia operatorów.

W celu zwiększenia dokładności ocen tłumienności odniesienia opracowano rozmaite obiektywne metody pomiaru tej wielkości, umożliwiające uzyskanie znacznej powtarzalności wyników pomiarów - są to tzw. metody OREM (\equiv Objective Reference Equivalent Measurement). Okazało się jednak, że wyniki pomiarów tłumienności odniesienia tych samych

obiektów, przeprowadzonych różnymi metodami obiektywnymi są wzajemnie niezgodne, a ponadto istotnie różnią się od wyników pomiarów przeprowadzonych metodą subiektywną. Z tego względu w ramach CCITT dotychczas nie uzgodniono ogólnie obowiązującej obiektywnej metody pomiarowej tłumienności odniesienia (patrz punkt 3 zalecenia P.62 [3, vol. V]). Mimo że różne administracje łączności stosują rozmaite metody, kraje zrzeszone w RWPG postanowiły [11], [13], że obowiązującą na ich terenie metodą obiektywnych pomiarów tłumienności odniesienia będzie metoda OREM A. Należy dodać, że w aneksie C do zalecenia G.121 CCITT [3, vol. III] stwierdzono, że skorygowana tłumienność odniesienia łączny może być wyznaczana obiektywną metodą pomiarową OREM B.

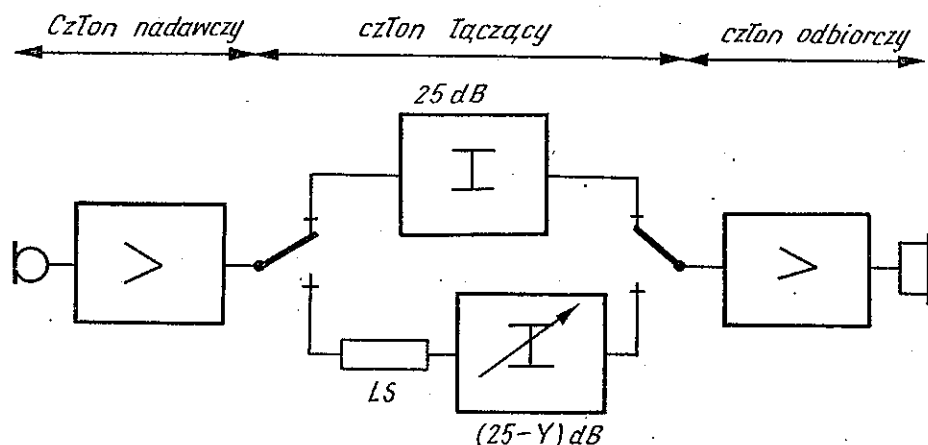
3.2. Zastosowana metoda subiektywna

Ze względu na nieaktualność do celów projektowania sieci metody sprecyzowanej w zaleceniu P.72 CCITT, pomiary linii sztucznych wykonywano metodą subiektywną przedstawioną w aneksie A do zalecenia G.111 CCITT, wyznaczając wskaźniki R 25 w układzie pomiarowym, którego schemat ideowy podano na rys. 2.

Wartość wskaźnika R 25 dla badanej linii sztucznej LS jest określana wartością tłumienności Y, którą należy odjąć od gałęzi badanej członu łączącego, aby występowała jednakowa głośność dźwięków mowy transmitowanej na przemian przez oba porównywane kanały (patrz rys. 2). Warto zwrócić uwagę, że przy "zerowej" linii sztucznej wartość $Y = 0$, a wówczas tłumik w gałęzi badanej jest identyczny z tłumikiem w gałęzi wzorcowej, tzn. jest ustawiony na wartości 25 dB. Ponadto trzeba zauważyć, że w rozpatrywanym układzie pomiarowym impedancja obciążenia badanej linii sztucznej jest rzeczywista i równa 600 Om, nie zależąc od częstotliwości w całym pasmie akustycznym.

W układzie pomiarowym zastosowano krajowy wzorzec telefonometryczny I rzędu, stanowiący kopię wzorca podstawowego NOSFER

(\equiv Nouveau Système Fondamental pour la détermination des Equivalents de Référence) - zgodnie z zaleceniem P.42 CCITT [3, vol. V].



Rys. 2. Schemat ideowy do pomiaru wskaźnika R25 metodą subiektywną (LS - badana linia sztuczna)

Porównania głośności były przeprowadzane przez krajową ekipę telefonometryczną złożoną z czterech operatorów w dwóch seriach pomiarów. Każda seria pomiarów obejmowała 12 ocen tłumienności uzyskanych przez poszczególne pary operatorów; druga seria pomiarów następowała po upływie około miesiąca po zakończeniu serii pierwszej. Jako ostateczny wynik pomiaru przyjmowano wartość średniej arytmetycznej wyników poszczególnych ocen^{x/}.

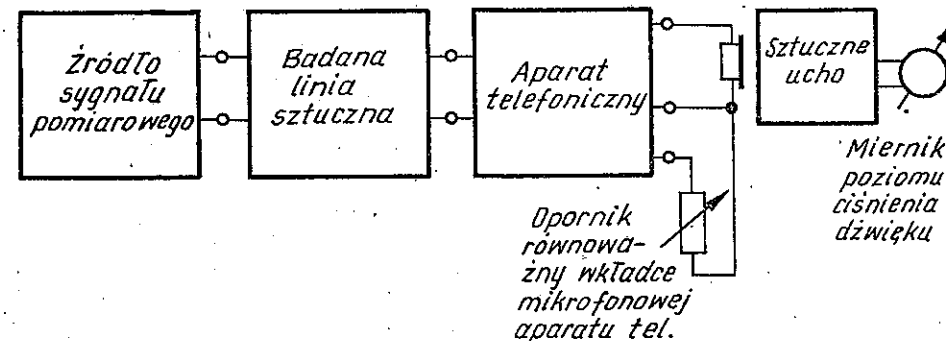
3.3. Zastosowane metody obiektywne

Zastosowane w badaniach porównawczych obiektywne metody pomiarowe tłumienności odniesienia linii sztucznych były uwarunkowane do-

x/ Obszerniejszy opis podano w artykule [9].

stępnym wyposażeniem przyrządowym. Mianowicie dysponowano zestawem przyrządów pomiarowych typu 3352 firmy Brüel i Kjoer [2], umożliwiającym przeprowadzenie pomiarów metodami OREM A, OREM B i OREM US, a także przyrządem pomiarowym typu EJ5 firmy GNT Automatic A/S [4], umożliwiającym przeprowadzenie pomiarów metodą OREM N. W tablicy 2 zestawiono główne parametry techniczne zastosowanych metod OREM.

W celu uzyskania maksymalnej dokładności wyników, pomiary tłumienności odniesienia linii sztucznych przeprowadzono przy odbiorczym kierunku transmisji^{x/} w układzie, którego schemat ideowy przedstawiono na rys. 3. Należy zwrócić uwagę, że w tym układzie pomiarowym obciążeniem badanej linii sztucznej jest aparat telefoniczny o impedancji zależnej zarówno od częstotliwości, jak i od prądu zasilającego ten aparat.



Rys. 3. Schemat ideowy układu do obiektywnych pomiarów tłumienności odniesienia linii sztucznych przy odbiorczym kierunku transmisji

x/ W tym przypadku unika się rozmycia wyników pomiarów, wywołanego labilnością właściwości transmisyjnych przetworników akustoelektrycznych w aparatach telefonicznych; zjawiska tego nie można uniknąć przy nadawczym kierunku transmisji w przypadku badań układów miejscowych złożonych z linii sztucznych i standardowych aparatów telefonicznych wyposażonych w węglowe wkładki mikrofonowe.

Tablica 2
Porównawcza charakterystyka obiektywnych metod pomiarowych [2], [4]

Nazwa metody	OREM A	OREM B	OREM US	OREM N
Sygnal pomiarowy	wobulujący 1/s quasisinusoidalny w zakresie 200 ÷ 4000 Hz	wobulujący 1/s quasisinusoidalny w zakresie 200 ÷ 4000 Hz	wobulujący 1/s quasisinusoidalny w zakresie 300 ÷ 3300 Hz	szum losowy w pasmie 300 ÷ 3400 Hz
Impedancja źródła sygnału	600 Om	600 Om	600 Om	600 Om
Kubatura sztucznego ucha	6 cm ³	4 cm ³	6 cm ³	6 cm ³
Wykładnik potęgi miernika całkującego	0,6	0,6	0,45	1
Powtarzalność wyników pomiarów	±0,15 dB	±0,15 dB	±0,15 dB	±0,2 dB

Zgodnie z punktem 2 aneksu C do zalecenia G.121 CCITT [3, vol. III], tłumienność odniesienia badanej linii sztucznej wyznaczono jako różnicę:

$$Y = J - J_0 \quad /9/$$

gdzie J jest wartością tłumienności odniesienia układu miejscowego zawierającego badaną linię sztuczną, zaś J_0 - wartością tłumienności odniesienia samego aparatu telefonicznego.

4. METODA OBLICZEŃ ORTOTELEFONICZNEJ TŁUMIENNOŚCI SKROŚNEJ BADANYCH OBIEKTÓW

Obliczenia ortotelefonicznej tłumienności \bar{A} linii sztucznych odtwarzających nieupinizowane tory kablowe zostały wykonane metodą przedstawioną w [7].

Mianowicie wielkość ta może być wyrażona jako suma dwóch składników

$$\bar{A} = \bar{A}_0 + \bar{\Delta} \quad /10/$$

gdzie \bar{A}_0 jest ortotelefoniczną tłumiennością falową rozważanego toru, zaś $\bar{\Delta}$ - przyrostem ortotelefonicznej tłumienności skrośnej względem falowej, wywołanym niedopasowaniem impedancji obciążenia toru do jego impedancji falowej.

Jak wykazano w [7], ortotelefoniczną tłumienność falową nieupinizowanego toru kablowego można wyznaczyć na podstawie zależności

$$\bar{A}_0 \approx 1 \sqrt{f_r \pi R_1 C_1} \quad /11/$$

gdzie l jest długością rozważanego toru kablowego, R_1 oraz C_1 są jednostkowymi parametrami tego toru, zaś f_r - częstotliwością równoważną, która dla funkcji wagi g określonej wzorem [8] wynosi

$$f_r \approx 1,020 \text{ kHz}$$

Natomiast pasmowy przyrost $\bar{\Delta}$ można oszacować na podstawie p-punktowej aproksymaty:

$$\bar{\Delta} \approx \sum_{k=1}^p G_k \cdot \Delta_k \quad /12/$$

gdzie G_k jest współczynnikiem wagowym punkowego przyrostu Δ_k tłumienności skrośnej względem falowej przy częstotliwości f_k . Dla funkcji wagi g określonej wzorem /8/ z zastosowaniem względnie najefektywniejszej^{x/} 9-punktowej aproksymaty uzyskane optymalne wartości f_k oraz G_k podano w tablicy 3.

Dla każdej częstotliwości f_k (gdzie $k=1, \dots, p$) punktowy przyrost tłumienności wynosi

$$\Delta_k = \frac{1}{2} \ln \frac{|1 - q_k^2 e^{-4\Gamma_k}|}{|1 - q_k|^2} \quad /13/$$

gdzie

$$\Gamma_k = 1(\alpha_k + j\beta_k) \quad /14/$$

jest tłumownością falową rozważanego toru o długości 1, przy czym

$$\alpha_k \approx \sqrt{f_k \pi R_1 C_1} \quad /15/$$

oraz

$$\beta_k \approx \sqrt{f_k \pi R_1 C_1} \quad /16/$$

są odpowiednio: jednostkową tłumiennością falową oraz jednostkową przesuwnością falową jednorodnego toru kablowego przy częstotliwości f_k w zakresie naturalnego pasma telefonicznego.

x/ Aproksymaty o prawie jednakowych współczynnikach wagowych G_k ; patrz [6].

Tablica 3

Wartości współczynników G_k , a_{ki} oraz b_{ki} przy ustalonych częstotliwościach f_k naturalnego pasma telefonicznego

k	f_k [kHz]	G_k	a_{k0}	a_{k1}	a_{k2}	b_{k0}	b_{k1}	b_{k2}
1	0,330	0,128 818	598,89	-4888,9	22222,2	0,62250	-0,87266	58,1776
2	0,460	0,127 005	730,56	-7388,9	55555,6	0,55075	-0,38785	38,7851
3	0,550	0,132 817	802,78	-8944,4	77777,8	0,51487	-2,03622	58,1776
4	0,800	0,133 546	887,78	-8944,4	77777,8	0,37331	-1,55140	38,7851
5	1,020	0,123 885	900,00	-8333,3	66666,7	0,30931	-2,71496	38,7851
6	1,480	0,133 707	945,56	-10555,6	88888,9	0,26568	-8,24183	96,9627
7	2,000	0,098 494	900,56	-10555,6	88888,9	0,19974	-7,17524	77,5702
8	2,660	0,084 389	911,67	-11833,3	100000,0	0,19974	-7,17524	77,5702
9	3,240	0,037 339	921,11	-12777,8	111111,1	0,19974	-7,17524	77,5702

Wartości współczynników c_1 : $c_0 = 2,411$ $c_1 = 102,2$ $c_2 = -288,9$

Występujący we wzorze /13/ współczynnik niedopasowania q_k przy częstotliwości f_k jest równy

$$q_k = \frac{W_k - Z_k}{W_k + Z_k} \quad /17/$$

gdzie W_k jest impedancją obciążenia rozważanego toru, natomiast Z_k jest impedancją falową tego toru, która w zakresie naturalnego pasma telefonicznego wynosi

$$Z_k \approx \sqrt{\frac{R_1}{2 \pi f_k C_1}} e^{-j \frac{\pi}{4}} \quad /18/$$

W przypadku porównań ortotelefonicznej tłumienności skrośnej linii sztucznych odtwarzających nieupinizowane tory kablowe z tłumiennością odniesienia tych linii mierzoną metodą subiektywną przedstawioną w pkt. 3.2 tego referatu, impedancja obciążenia

$$W_k \equiv 600 e^{j0}$$

przy wszystkich częstotliwościach f_k w naturalnym pasmie telefonicznym.

Natomiast w przypadku porównań ortotelefonicznej tłumienności skrośnej linii sztucznych z tłumiennością odniesienia tych linii mierzoną metodami obiektywnymi obciążeniem jest aparat telefoniczny, którego impedancja wejściowa W zależy zarówno od częstotliwości f , jak i od natężenia I_A prądu zasilającego ten aparat.

Przy każdej częstotliwości f_k (gdzie $k=1, \dots, p$) impedancję wejściową

$$W_k = |W_k| e^{j\varphi_k} \quad /19/$$

aparatu telefonicznego można wyrazić w zależności od natężenia I_A prądu zasilającego następującymi wzorami aproksymacyjnymi:

$$|W_k| = a_{k0} + a_{k1} \cdot I_A + a_{k2} \cdot I_A^2 \quad /20/$$

$$\varphi_k = b_{k0} + b_{k1} \cdot I_A + b_{k2} \cdot I_A^2 \quad /21/$$

Wartości liczbowe występujących w powyższych wzorach współczynników a_{ki} oraz b_{ki} (gdzie $i = 0, 1, 2$), charakteryzujących aparat telefoniczny typu CB 740 wyposażony w dynamiczną wkładkę słuchawkową typu W 66 oraz w węglową wkładkę mikrofonową typu CB 68 o przeciętnej oporności wewnętrznej, zestawiono w tablicy 3.

Występujące we wzorach /20/ i /21/ natężenie I_A prądu zasilającego aparat telefoniczny można wyznaczyć, wychodząc z zależności:

$$I_A = \frac{U_B}{R_P + R_L + R_A} \quad /22/$$

gdzie U_B oznacza napięcie baterii zasilającej w centrali telefonicznej, R_P - rezystancję przekaźnika kontrolującego pętlę abonencką, R_L - rezystancję toru abonenckiego, zaś R_A - rezystancję wewnętrzną aparatu telefonicznego, zasilanego prądem o natężeniu I_A .

Jeżeli uwzględnimy, że:

$$R_A = \frac{U_A}{I_A} \quad /23/$$

gdzie U_A jest stałym napięciem występującym na rezystancji wewnętrznej aparatu, to zależność /22/ możemy sprowadzić do postaci:

$$U_A + I_A (R_P + R_L) - U_B = 0 \quad /24/$$

Dla aparatu telefonicznego zachodzi następująca zależność aproksymacyjna:

$$U_A = c_0 + c_1 \cdot I_A + c_2 \cdot I_A^2 \quad /25/$$

gdzie c_i są współczynnikami o wartościach charakteryzujących dany typ aparatu (patrz dół tablicy 3).

Podstawiając /25/ do /24/ otrzymamy równanie kwadratowe:

$$c_2 \cdot I_A^2 + (c_1 + R_P + R_L) I_A - (U_B - c_0) = 0 \quad /26/$$

którego rozwiązanie wynosi

$$I_A = \frac{\sqrt{(c_1 + R_P + R_L)^2 + 4 c_2 (U_B - c_0)} - (c_1 + R_P + R_L)}{2 c_2} \quad /27/$$

Wzór /27/ umożliwia obliczenie natężenia prądu zasilającego aparat telefoniczny danego typu (o danych wartościach współczynników c_i) z centrali określonego typu (o danych wartościach U_B oraz R_P) w funkcji długości l łącza abonenckiego danego typu (o danej rezystancji jednostkowej R_1 toru), ponieważ:

$$R_L = l \cdot R_1 \quad /28/$$

5. METODA SZACOWANIA WZAJEMNYCH ZALEŻNOŚCI MIĘDZY WIELKOŚCIAMI

Jeżeli dany jest zbiór par wartości x_i, y_i (gdzie $i = 1, \dots, n$) wielkości X i Y , to współczynnik korelacji liniowej w tym zbiorze wynosi [12, rozdz. 9]:

$$\rho = \frac{C_{XY}}{S_X \cdot S_Y} \quad /29/$$

gdzie:

$$S_X = \sqrt{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \quad /30/$$

$$S_Y = \sqrt{\overline{y^2} - \bar{y}^2} \quad /31/$$

$$C_{XY} = \overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y} \quad /32/$$

przy czym:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad /33/$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad /34/$$

$$\overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \quad /35/$$

$$\overline{y^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad /36/$$

$$\overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i \quad /37/$$

Przy badaniach porównawczych ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X z tłumiennością odniesienia Y zawsze są spełnione warunki:

$$\begin{aligned} \text{I: } & (x=0) \rightarrow (y=0) \\ \text{II: } & (y=0) \rightarrow (x=0) \end{aligned} \quad /38/$$

a więc prosta regresji przechodzi przez początek układu współrzędnych. W tym przypadku podany we wzorze /1/ współczynnik przesunięcia

$$\alpha = 0, \quad /39/$$

natomiast współczynniki regresji wynoszą [12, rozdz. 9]:

$$\beta_{YX} = \frac{\overline{xy}}{\overline{x^2}} \quad /40/$$

oraz

$$\beta_{XY} = \frac{\overline{XY}}{\overline{Y^2}} \quad /41/$$

Współczynniki te umożliwiają oszacowanie wielkości Y przy znanej wartości wielkości X na podstawie wzoru

$$\tilde{Y} = \beta_{xy} \cdot X \quad /42/$$

a także oszacowanie wielkości X przy znanej wartości wielkości Y na podstawie wzoru

$$\tilde{X} = \beta_{XY} \cdot Y. \quad /43/$$

6. WYNIKI BADAŃ PORÓWNAWCZYCH

6.1. Pomiary tłumienności odniesienia metodą subiektywną

W tablicy 4 zestawiono wyniki obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X linii sztucznych obciążonych rezystancją 600 Om oraz wyniki pomiarów tłumienności odniesienia Y tych linii metodą subiektywną, scharakteryzowaną w punkcie 3.2^{x/}. Obliczenia i pomiary dotyczyły 8 linii sztucznych przy maksymalnej ich długości, równej N km (patrz tabl. 1).

Wyznaczona na podstawie wzoru /29/ wartość współczynnika korelacji między wynikami obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X linii sztucznych, a wynikami obu serii pomiarów metodą subiektywną tłumienności odniesienia Y tych linii wynosi $\rho \approx 0,34$.

x/ Należy wyjaśnić, że występujące w tej tablicy wartości Y , podane z dokładnością do setnej części decybel, powstały po przeliczeniu wyrażonych w neperach wartości średnich z 12 ocen wskaźnika R 25, dokonywanych przez poszczególne pary 4-osobowej ekipy telefonometrycznej.

Tablica 4

Zestawienie wyników obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X oraz wyników pomiarów tłumienności odniesienia Y metodą subiektywną (wartości wskaźnika R 25, uzyskane w I i II serii pomiarów)

Lp.	Obiekt porównań	X [dB]	Y [dB]	
			I seria	II seria
1	6 km XTKMX 0,4	10,84	11,03	11,38
2	8 km XTKMX 0,5	11,39	11,03	10,94
3	10 km XTKMX 0,6	11,79	8,95	9,82
4	12 km XTKMX 0,8	10,57	10,08	9,82
5	6 km TKM 0,4	9,83	9,47	9,82
6	8 km TKM 0,5	10,34	11,03	10,94
7	10 km TKM 0,6	10,65	9,73	9,55
8	12 km TKM 0,8	9,47	9,38	8,25

Wyznaczona na podstawie wzoru /40/ wartość współczynnika regresji wielkości Y (tzn. wskaźnika R 25) względem wielkości X wynosi

$$\beta_{YX} \approx 0,95$$

natomiast wyznaczona na podstawie wzoru /41/ wartość współczynnika regresji wielkości X względem wielkości Y wynosi

$$\beta_{XY} \approx 1,05$$

6.2. Pomiary tłumienności odniesienia metodami obiektywnymi

W tablicy 5 zestawiono wyniki obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X oraz wyniki pomiarów tłumienności odniesienia Y metodami obiektywnymi OREM A, OREM B, OREM US, OREM N.

Obliczenia i pomiary dotyczyły 8 linii sztucznych (scharakteryzowanych w pkt. 2 referatu), odtwarzających nieupinizowane tory kablowe o długościach od 1 km co 1 km aż do N km dla danego typu kabla (patrz tabl. 1).

W tablicy 6 zestawiono wyniki obliczeń współczynników korelacji ρ między wielkościami X oraz Y dla różnych metod pomiarowych, zaś w tablicy 7 - wyniki obliczeń odpowiadających współczynników regresji β .

Tablica 5

Zestawienie wyników obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X linii sztucznych odtwarzających nieupinizowane tory kablowe różnej długości 1 oraz wyników pomiarów tłumienności odniesienia Y tych linii różnymi metodami obiektywnymi (OREM A, OREM B, OREM US, OREM N)

Typ kabla i średnica żył d [mm]	1 [km]	X [dB]	Y_A [dB]	Y_B [dB]	Y_{US} [dB]	Y_N [dB]
1	2	3	4	5	6	7
XTKMX 0,4	1	1,81	1,8	1,7	1,5	1,78
	2	2,99	3,6	3,5	3,4	3,43
	3	4,87	5,2	5,2	5,3	4,82
	4	6,47	6,9	6,9	6,6	6,06
	5	8,01	8,7	8,7	8,9	7,56
	6	9,54	10,2	10,2	10,6	8,73

cd. tablicy 5

Typ kabla i średnica żył d [mm]	1 [km]	X [dB]	Y_A [dB]	Y_B [dB]	Y_{US} [dB]	Y_N [dB]
1	2	3	4	5	6	7
XTKMX 0,5	1	0,92	1,15	1,2	1,1	1,13
	2	2,25	2,4	2,5	2,5	2,39
	3	3,37	3,7	3,8	3,8	3,47
	4	4,97	5,0	5,2	5,3	4,52
	5	6,36	6,3	6,6	6,8	5,47
	6	7,71	7,7	7,8	8,2	6,69
	7	9,05	9,0	9,2	9,7	7,82
	8	10,39	10,2	10,5	11,1	8,73
XTKMX 0,6	1	0,71	1,0	0,7	1,0	0,87
	2	1,77	1,95	1,7	2,0	1,65
	3	2,70	3,0	2,7	3,0	2,69
	4	3,61	4,1	3,8	4,2	3,43
	5	5,01	5,2	4,9	5,5	4,26
	6	6,26	6,35	6,1	6,8	5,12
	7	7,45	7,4	7,2	8,0	5,99
	8	8,63	8,5	8,3	9,2	7,04
	9	9,80	9,6	9,4	10,4	7,90
	10	10,96	10,65	10,5	11,7	8,56

cd. tablicy 5

Typ kabla i średnica żył d [mm]	1 [km]	X [dB]	Y_A [dB]	Y_B [dB]	Y_{US} [dB]	Y_N [dB]
1	2	3	4	5	6	7
XTKMX 0,8	1	0,48	0,55	0,3	0,7	0,48
	2	0,95	1,15	0,9	1,2	0,91
	3	1,82	1,85	1,7	2,0	1,52
	4	2,73	2,65	2,5	2,9	2,08
	5	3,50	3,4	3,3	4,0	2,82
	6	4,21	4,2	4,1	5,1	3,34
	7	5,05	5,0	4,9	6,2	3,91
	8	6,07	5,85	5,8	7,3	4,65
	9	7,07	6,7	6,7	8,3	5,30
	10	8,03	7,5	7,6	9,4	6,04
	11	8,98	8,35	8,5	10,5	6,73
	12	9,91	9,15	9,3	11,6	7,56
TKM 0,4	1	1,63	2,05	1,8	1,9	1,91
	2	2,79	3,7	3,5	3,3	3,43
	3	4,50	5,3	5,1	5,0	4,73
	4	5,89	7,25	6,8	6,9	5,99
	5	7,21	8,9	8,3	8,7	7,38
	6	8,43	10,1	9,7	10,6	8,38

cd. tablicy 5

Typ kabla i średnica żył d [mm]	1 [km]	X [dB]	Y_A [dB]	Y_B [dB]	Y_{US} [dB]	Y_N [dB]
1	2	3	4	5	6	7
TKM 0,5	1	0,94	1,15	1,2	1,3	1,13
	2	2,10	2,4	2,4	2,5	2,35
	3	3,04	3,6	3,6	3,7	3,39
	4	4,50	4,85	4,8	5,1	4,39
	5	5,73	6,05	6,1	6,4	5,25
	6	6,90	7,35	7,4	7,7	6,34
	7	8,06	8,8	8,7	9,0	7,43
	8	9,21	10,0	9,8	10,4	8,25
TKM 0,6	1	0,69	1,15	0,7	0,9	1,00
	2	1,65	2,0	1,7	1,7	2,00
	3	2,44	2,95	2,6	2,7	2,78
	4	3,19	3,9	3,6	3,8	3,39
	5	4,47	4,95	4,6	4,9	4,26
	6	5,58	5,9	5,6	6,3	5,12
	7	6,62	6,9	6,7	7,6	5,91
	8	7,65	7,9	7,8	8,8	6,95
	9	8,67	8,9	8,7	10,0	7,60
	10	9,69	9,9	9,7	11,6	8,10

cd. tablicy 5

Typ kabla i średnica żył d [mm]	1 [km]	X [dB]	Y_A [dB]	Y_B [dB]	Y_{US} [dB]	Y_N [dB]
TKM 0,8	1	0,46	0,7	0,3	0,5	0,43
	2	0,84	1,15	0,9	1,0	0,96
	3	1,60	1,8	1,6	1,7	1,48
	4	2,40	2,5	2,2	2,5	2,08
	5	3,07	3,2	2,9	3,3	2,61
	6	3,65	3,95	3,7	4,3	3,13
	7	4,36	4,6	4,4	5,3	3,65
	8	5,29	5,4	5,2	6,3	4,26
	9	6,19	6,1	6,1	7,2	4,91
	10	7,07	6,9	6,9	8,1	5,47
	11	7,88	7,7	7,7	9,1	6,12
	12	8,70	8,3	8,3	10,1	6,77

Tablica 6

Wartości współczynników korelacji ρ między wynikami obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X linii sztucznych i wynikami pomiarów tłumienności odniesienia Y tych linii różnymi metodami obiektywnymi (OREM A, OREM B, OREM US, OREM N)

Wielkość	X	Y_A	Y_B	Y_{US}	Y_N
X	1	0,9897	0,9928	0,9949	0,9813
Y_A	0,9897	1	0,9982	0,9873	0,9959
Y_B	0,9928	0,9982	1	0,9891	0,9957
Y_{US}	0,9949	0,9873	0,9891	1	0,9754
Y_N	0,9813	0,9959	0,9957	0,9754	1

Tablica 7

Wartości współczynników regresji β między wynikami obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X linii sztucznych i wynikami pomiarów tłumienności odniesienia Y tych linii różnymi metodami obiektywnymi (OREM A, OREM B, OREM US, OREM N)

Szacowane. Dane	X	Y_A	Y_B	Y_{US}	Y_N
X	1	1,0041	0,9905	1,1053	0,8379
Y_A	0,9905	1	0,9849	1,0955	0,8355
Y_B	1,0060	1,0141	1	1,1123	0,8474
Y_{US}	0,9025	0,9068	0,8942	1	0,7561
Y_N	1,1816	1,1945	1,1767	1,3059	1

7. INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ I WNIOŚKI

Wyznaczone w pkt. 6 referatu wartości współczynników regresji β_{yx} oznaczają, że zachodzą następujące zależności regresyjne między ortotelefoniczną tłumiennością skrośną X niepupinizowanych torów kablowych a tłumiennością odniesienia Y tych torów, wyznaczoną różnymi metodami pomiarowymi:

- subiektywną (wskaźnik R 25):

$$\tilde{Y}_{R25} \approx 0,95 \cdot X \quad [44/]$$

- obiektywną OREM A :

$$\tilde{Y}_A = 1,0041 \cdot X \quad [45/]$$

- obiektywną OREM B :

$$\tilde{Y}_B = 0,9905 \cdot X \quad [46/]$$

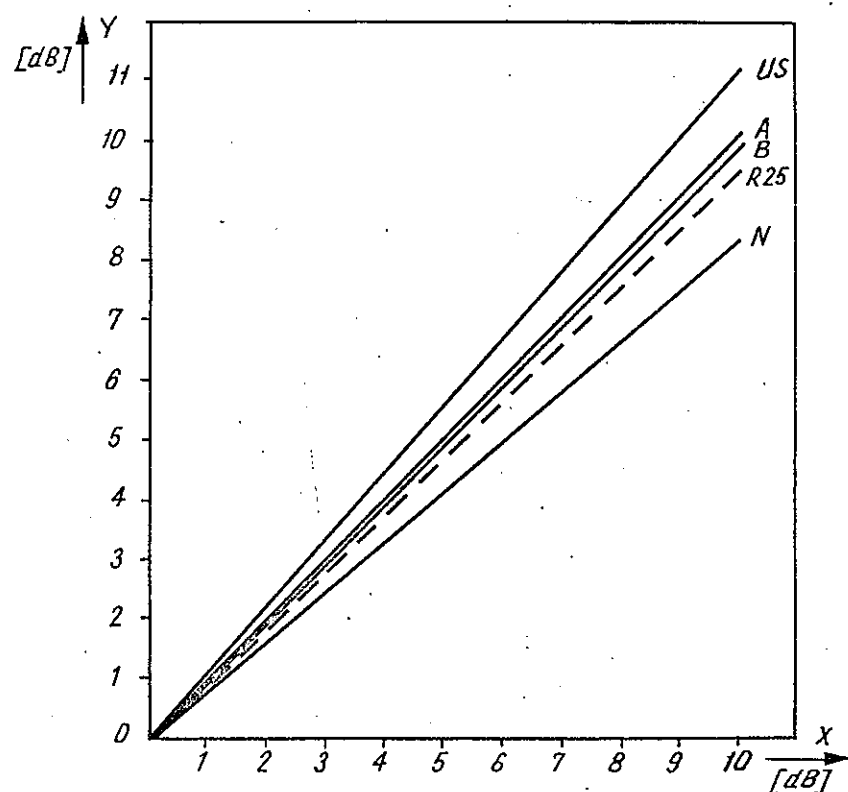
- obiektywną OREM US :

$$\tilde{Y}_{US} = 1,1053 \cdot X \quad [47]$$

- obiektywną OREM N :

$$\tilde{Y}_N = 0,8379 \cdot X \quad [48]$$

Zależności te przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Wykres liniowej zależności regresyjnej między wynikami Y pomiarów tłumienności odniesienia metodą subiektywną (R25) oraz czterema metodami obiektywnymi (OREM A ; OREM B , OREM US i OREM N), a wynikami obliczeń ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X linii sztucznych odtwarzających nieupinizowane tory kablowe

Ze względu na to, że wyznaczona w pkt. 6.1 wartość współczynnika korelacji $\varphi \approx 0,34$ - związek między wartościami wskaźnika R_{25} a wartościami ortotelefonicznej tłumienności skrośnej jest bardzo słaby. Oznacza to, że:

- uzyskana na podstawie dotychczas przeprowadzonych badań porównawczych^{x/} zależność określona wzorem [44] nie jest dostatecznie wiarygodna dla stosowania jej w praktyce;
- konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych badań porównawczych przy subiektywnej metodzie pomiarowej tłumienności odniesienia, badań tak zaprojektowanych, aby uzyskać dostatecznie dużą wartość współczynnika korelacji φ .

Ze względu na to, że wyznaczone w pkt. 6.2 wartości wszystkich współczynników korelacji $\varphi > 0,98$ - związki między wartościami tłumienności odniesienia uzyskanymi różnymi obiektywnymi metodami pomiarowymi a wartościami ortotelefonicznej tłumienności skrośnej są bardzo silne. Oznacza to, że zależności określone wzorami [45], [46], [47] i [48] są dostatecznie wiarygodne do stosowania w praktyce.

Z zależności tych wynika, że:

- za pomocą różnych obiektywnych metod pomiarowych tłumienności odniesienia są wyznaczane różne wielkości skalarne;
- wzajemne rozbieżności między tymi wielkościami dochodzą do 30% (ponieważ, jak widać z tablicy 7, występuje zależność: $\tilde{Y}_{US} \approx 1,3 \cdot Y_N$);

x/ Warto zwrócić uwagę, że w tabl. 4 występują:

- różnice ocen tłumienności odniesienia Y przy I i II serii pomiarów tego samego obiektu przekraczające 1,1 dB (przy $i=8$), charakteryzujące niepewność ocen ekipy telefonometrycznej;
- zgodności ocen tłumienności odniesienia Y różnych obiektów (w I serii przy $i=1; 2; 6$, natomiast w II serii przy $i=3; 4; 5$ oraz $i=2; 6$), charakteryzujące nieostrość ocen ekipy telefonometrycznej, tzn. niemożność stwierdzenia przez ekipę różnicy ortotelefonicznej tłumienności skrośnej X obiektów, przekraczającej nawet 1,9 dB.

- występuje praktyczna zgodność ortotelefonicznej tłumienności skróś-
nej z tłumiennością odniesienia mierzoną obiektywną metodą OREM A
(ponieważ, jak widać ze wzoru /45/, występuje zależność:

$$\tilde{Y}_A = (1 + \varepsilon) \cdot X, \text{ gdzie } \varepsilon < 5 \cdot 10^{-3}$$

WYKAZ LITERATURY

INSTITUT ŁĄCZNOŚCI
BIBLIOTEKA NAUCZNA
Nr S-9318

1. Bellert S.: Synteza toru sztucznego i od tłumika metodą aproksymacji Pade. Archiwum Elektrotechniki, z. 4, 1959.
2. Brüel & Kjoer: Instructions and Applications of Electroacoustic Telephone Transmission Measuring System Type 3352. Copenhagen 1973.
3. CCITT: Yellow Book (Recommendations of VII-th Plenary Assembly - November 1980), ITU, Geneva 1981.
4. GNT Automatic A/S: Instructions and Applications of Telephone Set Test Equipment Type EJ5. Copenhagen 1969.
5. Kowalski Z.: Metoda kompensacyjna wyznaczania ortotelefonicznej funkcji wagi dla tłumienności pasmowej. Referaty Problemowe IŁ, z. 51, 1982.
6. Kowalski Z.: Metody wyznaczania parametrów punktowych aproksymat tłumienności pasmowej. Referaty Problemowe IŁ, z. 47, 1981.
7. Kowalski Z.: Ortotelefoniczne tłumienności nieupinizowanych torów kablowych. Referaty Problemowe IŁ, z. 57, 1982.
8. Kowalski Z.: Pasmowe tłumienności czwórników i ortotelefoniczna tłumienność odniesienia. Referaty Problemowe IŁ, z. 31, 1980.
9. Kowalski Z.: Tłumienność odniesienia i jej zastosowanie przy projektowaniu sieci telefonicznej. Biuletyn Techniczny MŁ, Nr 1/1983 oraz Przegląd Telekomunikacyjny, Nr 12/1983.
10. Kowalski Z.: Zasady określania tłumienności pasmowej na podstawie danych punktowych. Referaty Problemowe IŁ, z. 36, 1980.

11. Norma RWPG 1350-78: Aparaty telefoniczne ogólnego zastosowania. Wymagania techniczne. Metody badań i pomiarów.
12. Volk W.: Statystyka stosowana dla inżynierów. WNT, Warszawa 1973.
13. Wymagania techniczne na obiektywny miernik tłumienności odniesienia (Załącznik 8.4 do protokołu Nr 37 Sekcji Nr 1 SKPRiE RWPG - 1982 r.).